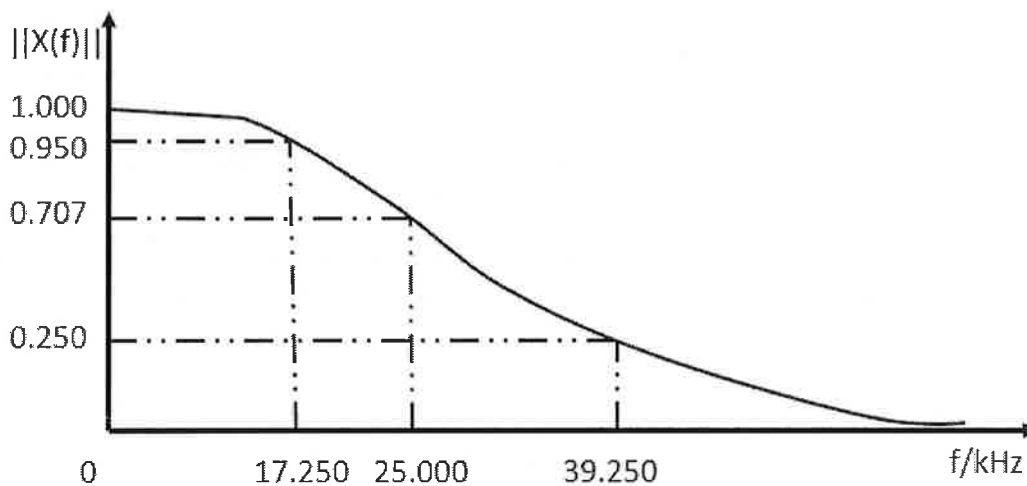


1. Saat tehtäväksesi selvittää erään [0, 20] kHz kiinnostavalle taajuusalueelle tarkoitetun 10-bittisen digitaalisen signaalinkeruulaitteen sielunelämää. Järjestelmä on ns. musta laatikko, mutta löydät sen sisältä A/D-muuntimelle menevän kytkennän ja pääset mittaamaan spektrianalysaattorilla siihen menevää signaalia. Syöttämällä laitteeseen 0-100 kHz (amplitudi 1) taajuuspyyhkäisyjä signaaligeneraattorilla saat A/D-muuntimen syötöstä kuvan 1 mittaustulokset.

You are tasked to understand the functionality of a 10 bit data logger intended for the interesting frequency band [0, 20] kHz. The device is a “black box”, but you succeed in finding the input to its A/D converter and become able to make measurements using a spectrum analyzer. Using 0-100 kHz frequency sweeps (amplitude 1) from a signal generator to the input of the device, you get the results depicted in Figure 1 at the input of the A/D converter.



Kuva 1/Figure 1.

- a) Päättelet kuvassa havaitsemasi monotonisen käyttäytymisen perusteella laitteen käyttävän laskostumisenestoon Butterworth-alipäästösuodatinta. Määritä alla olevan amplituditaajuusvastefunktion avulla sen kertaluku  $n$  ja rajataajuus  $f_c$ . (1p)

You conclude based on observed the monotonic response that the device employs a Butterworth low pass anti-aliasing filter. Based on the amplitude frequency response function below determine its order  $n$  and the cut-of frequency  $f_c$ .

$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}}$$

- b) Hahmottele laitteen näytteistämän kuvan 1 signaalin spektri taajuuteen  $F_s$  asti. Sketch the spectrum of the signal of Figure 1 sampled by the device until frequency  $F_s$ .

- c) Koska laite on asiantuntevasti suunniteltu, mikä voikaan olla sen minimissään käyttämä näytteistystaajuus  $F_s$ ? (1p)

As the device has been designed with expertise, what the minimum sampling frequency  $F_s$  it may use?

2. Kopioit tehtävän 1 laitteen toiminnallisuutta, mutta toteat 8 bitin resoluution riittävän tarkoituksiisi. Testaat ratkaisusi valitsemalla näytteistystaajuudeksi 80kHz, syöttämällä suoraan A/D-muuntimeen kiinnostavan kaistan läpäisevää 0-20 kHz taajuuspyyhkäisyä ja ohjaamalla näytteet välittömästi ns. nollannen kertaluokan pitoa käyttävään D/A-muuntimeen vertailua varten.

You copy the functionality of the device in Problem 1, but decide that 8 bit resolution suffices for your purposes. You test your solution by selecting 80 kHz sampling rate and feeding 0-20 kHz frequency sweeps in interesting band to the A/D converter, then directing the samples immediately to a D/A converter that employs zero-order hold.

- a) Hahmottele D/A-muuntimen lähdöstä saatavan signaalin spektri 160 kHz asti. (1p)

Sketch the output signal of the D/A converter until 160 kHz.

- b) Kytket lähtösignaalin audiovahvistimeen ja kaiuttimeen. Lähellä olevan koiran ulvonnasta tajuat tarvittavan suodatusta, jolla päätät vaimentaa alimman kuvastuvan taajuuden alle kvantisointivirheen tason, jolloin sen ei pitäisi erottua. Käytät tarkoitukseen Butterworth-alipäästösuodatinta (katso amplituditaajuusvastefunktio tehtävästä 1).

Korkein kiinnostava taajuus saa vaimentua korkeintaan 3dB nollataajuuteen verrattuna.

Mikä on tarvittavan suodattimen kertaluku  $n$  ja rajataajuus  $f_c$ . (2p)

You connect the output signal to an audio amplifier and loudspeaker. As a dog nearby starts howling, making you understand the necessity of filtering the signal, so you decide to attenuate the lowest imaging frequency component below the quantizing error level, making it undetectable. For the purpose you select Butterworth low pass filtering (the amplitude frequency response function is in Problem 1).

The highest interesting frequency may be attenuated at most by 3dB when compared to zero frequency. What is the order  $n$  and cut-off frequency  $f_c$  of the needed filter?

$$SQNR = (6.02 \cdot B + 1.76) \text{ dB}$$